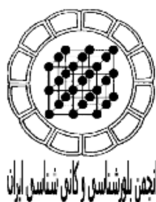
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

سال بیست و سوم، شمارهٔ چهارم، زمستان ۹۴، از صفحهٔ ۶۳۹ تا ۶۵۰



سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، منطقه‌های دگرسان و پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی در منطقه‌ی گل چشمه، شرق ایران

اعظم انتظاری هرسینی[1]، سید احمد مظاهری[1*]، سعید سعادت[2]

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- گروه زمین شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۹۳/۷/۵ ، نسخه نهایی: ۹۳/۱۰/۲۰)

چکیده: گستره‌ی مورد بررسی در ۲۲۰ کیلومتری جنوب غربی مشهد، ۸۰ کیلومتری جنوب نیشابور و در گستره‌ای بین طول‌های ″۱۵ '۴۲ °۵۸ الی″۴۰ '۴۳ °۵۸ قرار گرفته است. پی‌جویی اولیه در این منطقه با پردازش داده‌های ماهواره استر، و با استفاده از روش نقشه بردار، زاویه‌ی طیفی، دگرسانی‌های پروپیلیتیک، کربناتی، سیلیسی و آرژیلیک را مشخص کرد. این گستره دارای برونزدهایی از سنگ‌های آتشفشانی به سن ائوسن است. شواهد کانی‌سازی مس در منطقه‌ی گل چشمه بسیار گسترده است. کانی‌های کربناتی مالاکیت، سیلیکاتی کریزوکولا و سولفیدی کالکوسیت در سطح به‌صورت پر کننده‌ی فضاهای خالی و رگچه‌های کم ضخامت در سراسر منطقه‌ی مورد بررسی، همراه با سنگ‌های آتشفشانی مشاهده می‌شوند. در بخش‌هایی از منطقه، شواهدی وجود دارند که حرکت محلول‌های مس دار با ساختارهای خطی و منطقه‌های گسلی، کنترل شده‌اند که با توجه به تفاوت در ترکیب، بافت سنگ دیواره و نیز حجم محلول‌ها میزان نفوذ در سنگ‌های میزبان از چند سانتی‌متر تا چندین متر تفاوت دارند. براساس نتایج آنالیزهای انجام شده، ۸۰ درصد نمونه‌ها، پراکندگی بیش از ۱ درصد مس را نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: *کالکوسیت؛ گل چشمه؛ مالاکیت؛ کانی سازی؛ استر.*

مقدمه

گستره‌ی مورد بررسی در ۲۲۰ کیلومتری جنوب غربی مشهد، ۸۰ کیلومتری جنوب نیشابور و در گستره‌ای بین طول‌های ″۱۵ '۴۲ °۵۸ الی″۴۰ ′۴۳ °۵۸ به گستردگی ۵ کیلومترمربع قرار گرفته است. این منطقه در شمال شرق پهنه‌ی ایران مرکزی و در پهنه‌ی ساختاری سبزوار در شمال گسل درونه واقع شده است (شکل۱) [۱-۳]. در پهنه‌ی ساختاری سبزوار علاوه بر افیولیت‌های کرومیت‌دار، سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی گسترش قابل توجهی دارند و این سنگ‌ها، با کانی‌زایی گسترده مس، مس طلادار (ناحیه‌ی عباس آباد)، طلا (کوه زر دامغان، گندی) و سرب و روی همراهند.

روش بررسی

الف) پردازش داده‌های سنجنده استر به روش نقشه برداری زاویه‌ی طیفی (SAM) [۴]، با نرم افزار ENVI انجام شد [۵]. با پردازش داده‌های ماهواره‌ای استر و تهیه‌ی نقشه‌ی کانی‌های معرف منطقه‌های دگرسانی و کانی‌سازی، محل‌های مناسب برای کانی‌سازی‌ها در زمان کمتری از راه دور مشخص شد.

ب) بیش از ۱۲۰ مقطع نازک، ۱۰ مقطع نازک صیقلی و ۱۰ بلوک صیقلی در آزمایشگاه دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شدند که پس از تهیه، در آزمایشگاه به‌منظور بررسی‌های سنگ-شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی بررسی شدند.

*نویسنده مسئول، تلفن - نمابر: ۰۵۱۳۸۷۹۷۲۷۵، پست الکترونیکی: mazaheri@ferdowsi.um.ac.ir

پ) از طریق بررسی‌های میکروسکوپی مقاطع تهیه شده که گفته شد، نقشه‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی رقومی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ تهیه شود. در تهیه‌ی نقشه دگرسانی علاوه بر بررسی‌های میکروسکوپی مقاطع از پردازش داده‌های استر نیز استفاده شد.

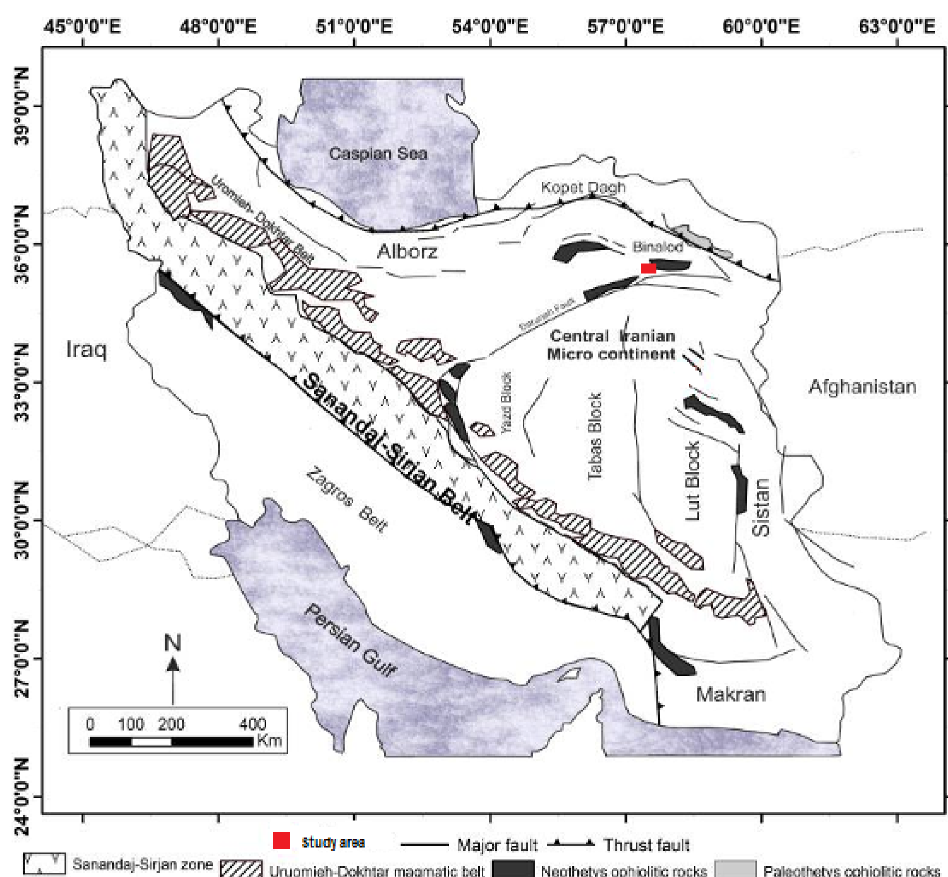
ت) بررسی‌های ژئوشیمیایی سطحی بر مبنای نتایج تجزیه‌ی شیمیایی ۸۹ نمونه صورت گرفت، نمونه‌برداری به روش خرده سنگی و به وزن ۱ الی ۲ کیلوگرم برای هر نمونه انجام شد که پس از خردایش و نرمایش نمونه‌ها تا حد ۷۵ میکرون، از هر نمونه ۱۵ گرم به آزمایشگاه ACME کانادا فرستاده شد، نمونه‌ها ابتدا در اسید کلریدریک و اسید نیتریک (تیزاب سلطانی) حل و سپس با دستگاه ICP-MS تجزیه شدند.

ث) بررسی‌های ژئوشیمیایی عمقی بر اساس نتایج تجزیه‌ی ۲۰۲ نمونه‌ی پودری انجام شد، ۱۸ چاه تا عمق ۳۰ متر در منطقه حفر شدند از شش چاه اول هر دو متر و چاه‌های دیگر هر یک متر نمونه برداری انجام شد، حدود ۳۰۰ گرم برای هرنمونه برداشت شد و تا ۷۵ میکرون (۲۰۰مش) نرمایش صورت گرفت، ۱۵ گرم از هر نمونه به شرکت زرآزما فرستاده شد که نمونه‌ها در اسید کلریدریک و اسید نیتریک حل و به وسیله ICP-OES (مدل Varian7035-OES radial) تجزیه شدند.

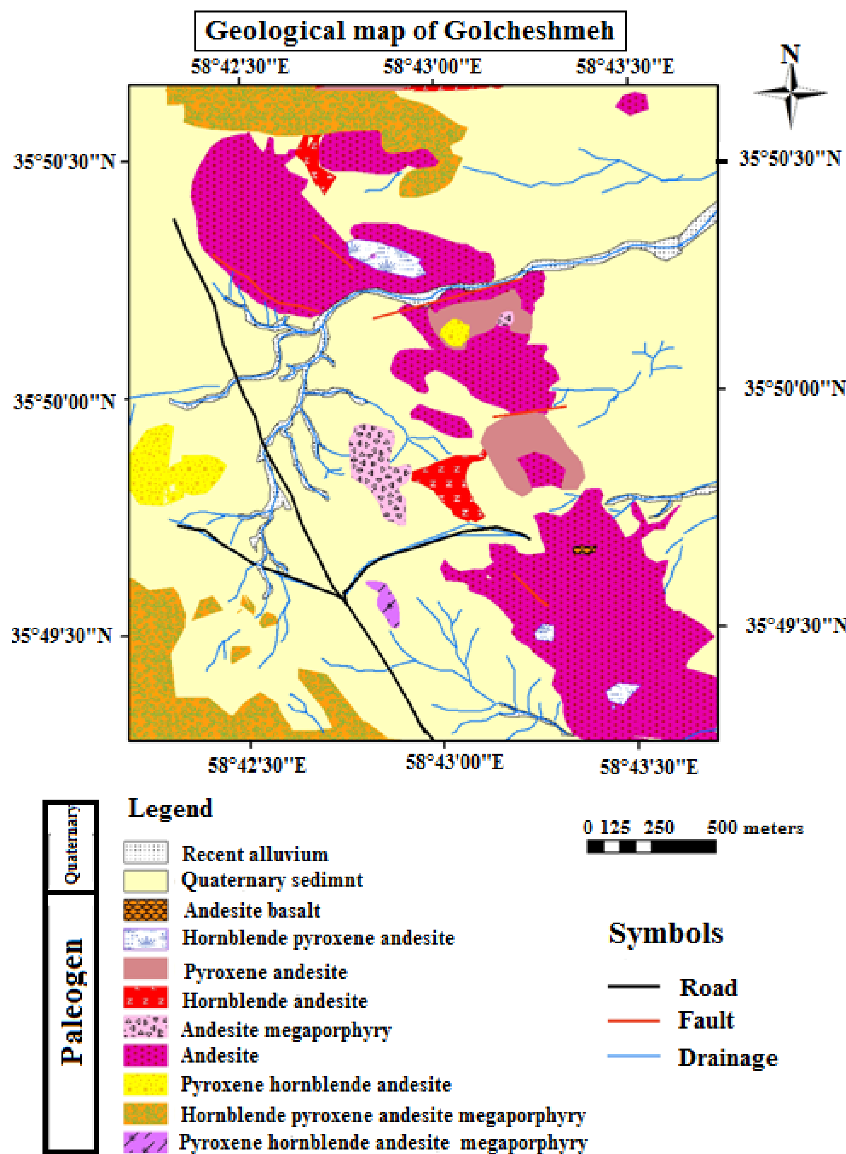
بحث و برداشت

زمین‌شناسی و سنگ‌نگاری

منطقه‌ی مورد بررسی در گستره‌ی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن قرار دارد، بر اساس نقشه‌ی یاد شده، واحدهای منطقه به سن پالئوژن هستند [۶]. با توجه به بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰ منطقه تهیه شد که بر اساس این بررسی‌ها واحدهای زیر مشخص شدند (شکل۲).



شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی در منطقه‌ی ساختاری سبزوار [۱-۳].



شکل ۲ نقشه‌ی زمین شناسی منطقه‌ی گل چشمه.

• **آندزیت:** این واحد بیشترین گسترش را نسبت به سنگ‌های آتشفشانی، در منطقه دارد. بافت این واحد، پورفیری و گلومروپورفیری با زمینه ریزدانه تا شیشه‌ای است. در بیشتر مناطق علاوه بر بافت پورفیری بافت فرعی بادامکی نیز مشاهده می‌شود. این حفرها به وسیله کربنات،کلریت و یا سیلیس بی شکل پر شده‌اند. فنوکریست موجود دراین سنگ‌ها، پلاژیوکلاز (۵الی ۱۰ درصد) است، کمتر از دو درصد نیز هورنبلند سوخته یا پیروکسن دیده می‌شود. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و زمینه، تبدیل شدگی به کربنات را نشان می‌دهند (شکل۳ الف).

• **هورنبلند آندزیت:** واحد هورنبلند آندزیت در بخش مرکز، شمال و شمال‌غربی منطقه گسترش یافته است. بافت این واحد، پورفیری با خمیره‌ی ریزدانه تا میان بلور جریانی است. بافت فرعی پویی کلیتیک و نیز بادامکی که حفرها به وسیله‌ی اکسید آهن، کربنات و اپیدوت پرشده‌اند، در این واحد مشاهده می‌شوند. این واحد دارای فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (۳ الی ۸ درصد) و هورنبلند سوخته (۲ الی ۵ درصد) است. تبدیل شدگی پلاژیوکلاز و هورنبلند به کربنات، اپیدوت، کلریت و کانی‌های رسی مشاهده می‌شود. زمینه نیز در بعضی نقاط کربناتی و اپیدوتی شده است (شکل۳ ب).

• **پیروکسن هورنبلند آندزیت:** این واحد در بخش مرکزی و غربی منطقه مشاهده می‌شود که دارای بافت پورفیری با زمینه-ی ریز دانه تا میان دانه و در بعضی جاها میکرولیتی به همراه

بافت بادامکی است که حفره‌ها به‌وسیله‌ی کربنات پرشده‌اند؛ دارای فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (۵ الی۱۱ درصد)، هورنبلند سوخته (۲ الی ۵ درصد) و پیروکسن (۱ الی ۲ درصد) است. در بعضی مناطق پلاژیوکلازها و هورنبلند به کربنات و مقدار کمی اپیدوت تبدیل شده‌اند (شکل ۳ پ).

- **آندزیت مگاپورفیری:** این واحد آتشفشانی در بخش مرکزی قابل مشاهده است که دارای بافت پورفیری با زمینه‌ی ریزدانه است. بافت بادامکی نیز در این واحد مشاهده می‌شود که حاوی فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (۸ الی۱۰ درصد با اندازه‌ی ۱ الی ۸ میلیمتر) است (شکل ۳ ت).

- **پیروکسن آندزیت:** پیروکسن آندزیت در بخش شرقی منطقه گسترش دارد. این واحد دارای بافت پورفیری و گلوموروپورفیری با زمینه ریز دانه تا متوسط بلور و در مناطقی بافت میکرولیتی است. فنوکریست‌ها، پلاژیوکلاز (۳ تا ۱۲ درصد) و پیروکسن (۲ الی ۸ درصد) هستند شکل۳ ث در نقاطی از منطقه رگچه‌های کربناتی- اپیدوتی (قطر ۰٫۱ الی ۰٫۱۵ میلیمتر) و اکسید آهن (قطر ۰٫۰۴ الی ۰٫۰۷ میلیمتر) در این واحد مشاهده می‌شود. در بعضی قسمت‌ها تبدیل شدگی فنوکریست پلاژیوکلاز و زمینه به کربنات و اپیدوت مشاهده می‌شود.

- **آندزیت بازالت:** آندزیت بازالت در بخش جنوب شرقی با گسترش کم مشاهده می‌شود و دارای بافت پورفیری با زمینه‌ی میان دانه‌ی جریانی است، و دارای فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (۵ الی ۱۰ درصد) و الیوین ایدنگزیتی (حدود ۲ الی ۴ درصد) است شکل ۳ ج تبدیل زمینه و فنوکریست پلاژیوکلاز، به کربنات نیز قابل مشاهده است.

- **پیروکسن هورنبلند آندزیت مگا پورفیری:** این واحد در بخش جنوبی منطقه مشاهده می‌شود و دارای بافت پورفیری با زمینه‌ی ریز دانه تا میان بلور جریانی است شکل۳ ح و حاوی فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (۸ الی۱۰ درصد با اندازه ۱ الی ۸ میلیمتر)، هورنبلند (۶ الی ۸ درصد) و پیروکسن (۱ الی ۲ درصد) است.

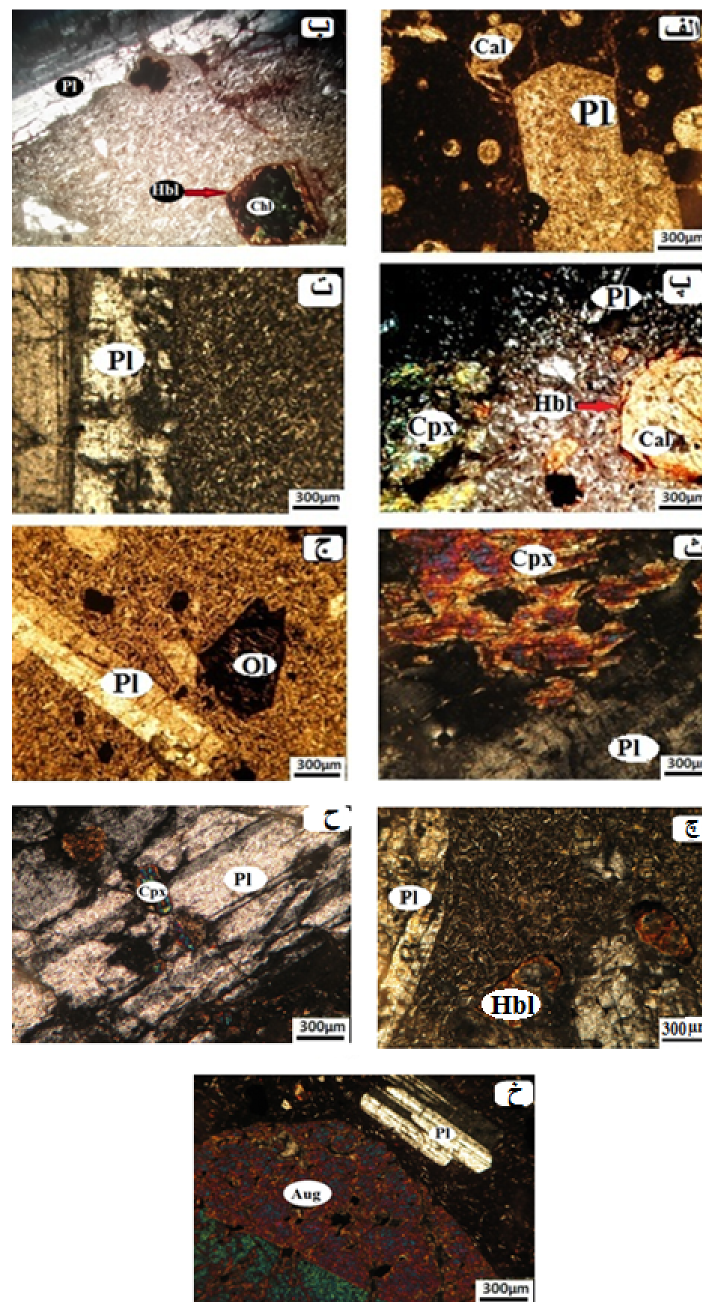
- **هورنبلند پیروکسن آندزیت:** این واحد در بخش مرکزی و جنوب شرقی منطقه مشاهده می‌شود، و دارای بافت پورفیری با زمینه‌ی ریز دانه تا میان دانه و میکرولیتی است. بافت پویی کلیتیک نیز در این واحد مشاهده می‌شود شکل ۳ خ دارای فنوکریست‌های پلاژیوکلاز حدود (۲ الی ۷ درصد)، پیروکسن (۲ الی ۳ درصد) و هورنبلند (۱ الی ۲ درصد) است. تبدیل شدگی پلاژیوکلازها و هورنبلند به کربنات و مقدار کمی اپیدوت را می‌توان در بعضی مناطق مشاهده کرد.

هورنبلند پیروکسن آندزیت مگا پورفیری: این واحد در بخش شمال، شمال‌غربی وجنوب غربی منطقه گسترش دارد، و دارای بافت پورفیری با زمینه‌ی ریز دانه تا میان دانه است. شکل ۳ د در بعضی قسمت‌ها بافت فرعی بادامکی که حفره‌ها با کربنات پرشده‌اند، دیده می‌شود. دارای فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (۷ الی ۱۸ درصد، با اندازه ۲ میلیمتر الی ۱٫۵ سانتیمتر)، پیروکسن (۳ الی ۵ درصد) و هورنبلند (۲ الی ۳ درصد) است.

دگرسانی

بررسی‌های دورسنجی

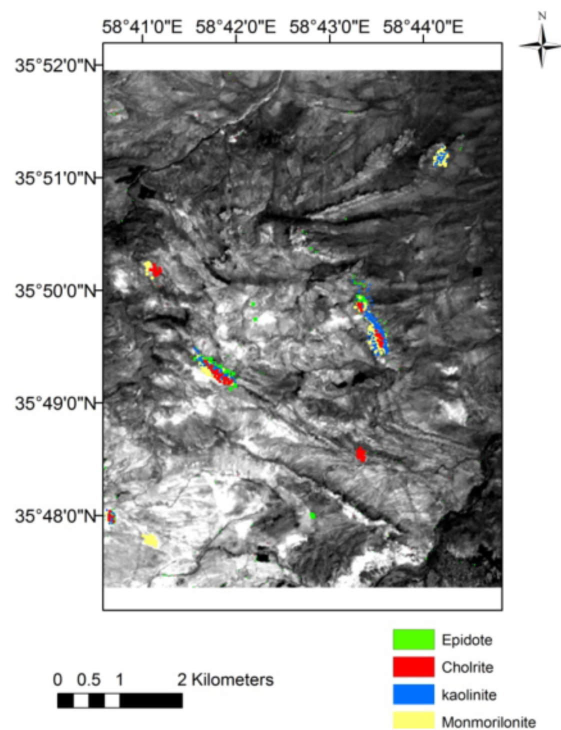
در این بررسی از داده‌های سنجنده ASTER و روش نقشه- برداری زاویه‌ی طیفی [۴]، برای جدایش دگرسانی استفاده شد. روش نقشه‌برداری زاویه‌ی طیفی (SAM) از جمله روش‌های مرسوم رده‌بندی نظارت شده است که با حداقل اختلاف زاویه- ی طیفی پیکسل‌ها، موقعیت کانی‌های منطقه‌های دگرسانی را در تصویر مشخص می‌کند. در منطقه‌ی مورد بررسی طیف‌های موجود در پیکسل‌های تصویر استر با کتابخانه طیفی دیجیتالی سازمان زمین‌شناسی امریکا (USGS) موجود در نرم افزار [ENVI 4.2۵] مورد مقایسه قرار گرفت. در این بررسی، روش SAM برای کانی‌های کائولینیت ومونت موریلونیت به‌عنوان شاخص دگرسانی آرژیلیک، اپیدوت و کلریت برای دگرسانی پروپیلیتیک، کلسیت و کوارتز به ترتیب برای دگرسانی کربناته و سیلیسی و هماتیت، ژاروسیت و گوتیت به‌عنوان کانی‌های ثانویه برای زون گوسان اجرا شد. زاویه‌ی بهینه برای هر کانی با توجه به مشاهدات صحرایی به دست آمد (جدول ۱). پردازش تصویر استر برای کانی‌های کائولینیت و مونتموریلونیت نشان می‌دهد که دگرسانی آرژیلیک گسترش فراوانی نداشته و در بخش مرکزی منطقه مقدارش نسبت به بخش‌های دیگر بیشتر است (شکل۴). مقایسه‌ی کانی‌های کلریت و اپیدوت به عنوان شاخص دگرسانی پروپیلیتیک نشان می‌دهد که مقدار اپیدوت نسبت به کلریت بیشتر است و این دگرسانی نیز گسترش زیادی ندارد (شکل۴). مقدار دگرسانی کربناتی و سیلیسی فراوان‌تر است و در بخش مرکز، شمال‌غربی و جنوب شرقی گسترش بیشتری دارند، که فراوانی دگرسانی سیلیسی به علت وجود رگه‌های سیلیسی در منطقه است (شکل۵). همچنین مقایسه‌ی کانی‌های هماتیت، ژاروسیت و گوتیت به‌عنوان کانی- های ثانویه نماینده‌ی منطقه‌ی گوسان، نشان می‌دهد که این منطقه در بخش‌های مرکز و شمال شرقی گستره گسترش یافته است (شکل ۶).



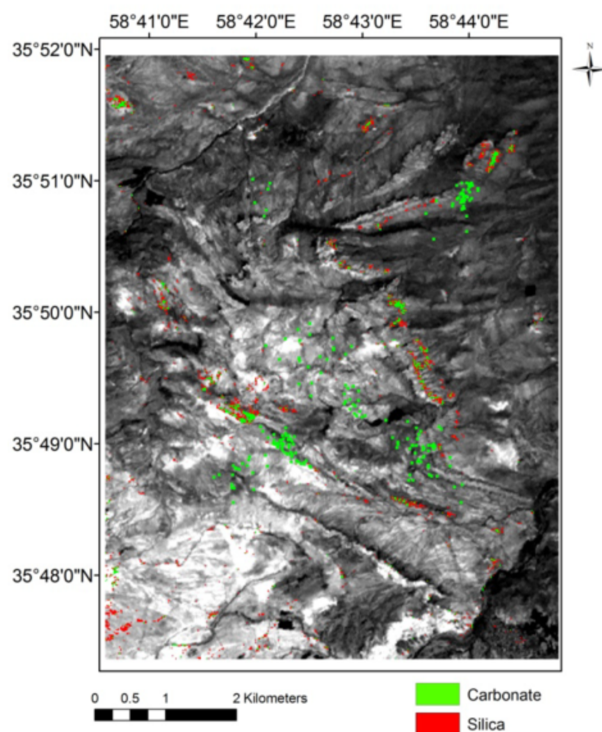
شکل۳ تصاویر میکروسکوپی مقاطع سنگ‌های آتشفشانی الف) فنوکریست پلاژیوکلاز در زمینه بادامکی، که تبدیل شدگی پلاژیوکلاز به کربنات و پرشدگی حفرات توسط کربنات در آن دیده می شود، سنگ آندزیت (نورPPL). ب) فنوکریست پلاژیوکلاز و هورنبلند سوخته در زمینه ریز دانه جریانی، که تبدیل شدگی هورنبلند به کلریت را نشان می‌دهد، سنگ هورنبلند آندزیت (نورXPL). پ) فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و هورنبلند، که هورنبلند تبدیل شدگی به کربنات را نشان می‌دهد، سنگ پیروکسن هورنبلند آندزیت ، (نورXPL). ت) فنوکریست پلاژیوکلاز در سنگ آندزیت مگاپورفیری(نورXPL). ث)فنوکریست پیروکسن در سنگ پیروکسن آندزیت (XPL). ج) کانی ایدنگزیتی شده الیوین در سنگ آندزیت بازالت (نور PPL). چ) فنوکریست پلاژیوکلاز و هورنبلند در زمینه جریانی، سنگ پیروکسن هورنبلند آندزیت مگاپورفیری(نورXPL). ح) بافت پوئی کلیتیک، پیروکسن داخل پلاژیوکلاز، سنگ هورنبلند پیروکسن آندزیت (نورXPL). خ) ماکل دوقلویی کانی اوژیت در سنگ هورنبلند پیروکسن آندزیت مگا پورفیری (نورXPL). (Pl = پلاژیوکلاز، Hbl = هورنبلند، Cpx = کلینو پیروکسن، Cal = کلسیت، Chl = کلریت، Ol = الیوین) علائم اختصاری کانی ها از[۷].

جدول۱ زاویه طیفی بهینه برای کانی‌های پردازش شده در تصاویر استر.

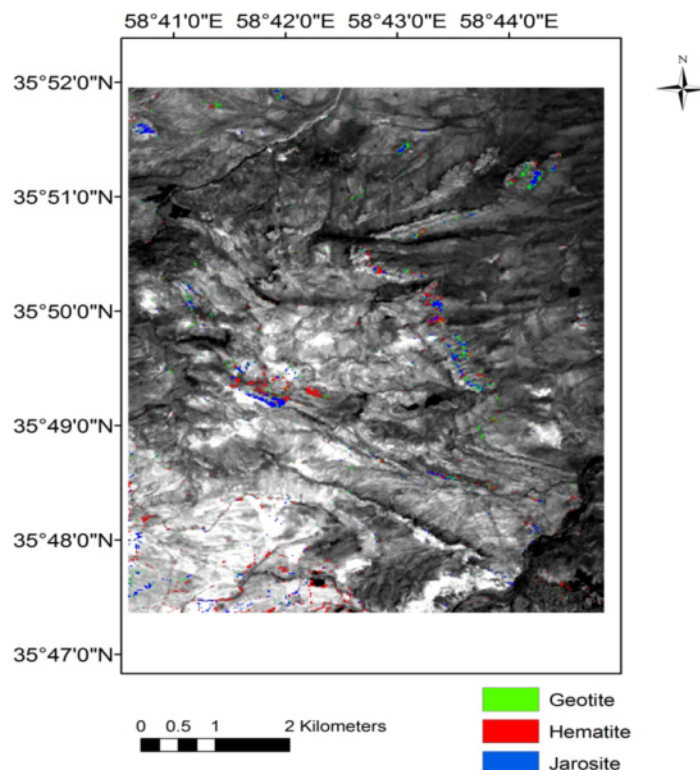
کانیهای دگرسانی	کائولینیت	مونت موریلونیت	اپیدوت	کلریت	کلسیت	کوارتز	ژاروسیت	هماتیت	گئوتیت
زاویه طیفی	۰٫۵۹۳	۰٫۵۹۴	۰٫۹۳۷	۱٫۱۵	۰٫۷۰۵	۰٫۸۰۲	۰٫۷۸۱	۰٫۹۸۲	۰٫۹۸۷



شکل ۴ تصاویر ماهواره‌ای استر که دگرسانی آرژیلیک و پروپیلیتیک بر روی آن بزرگنمایی شده است.



شکل ۵ تصاویر ماهواره‌ای استر که دگرسانی کربناتی و سیلیسی بر روی آن بارزسازی شده است.

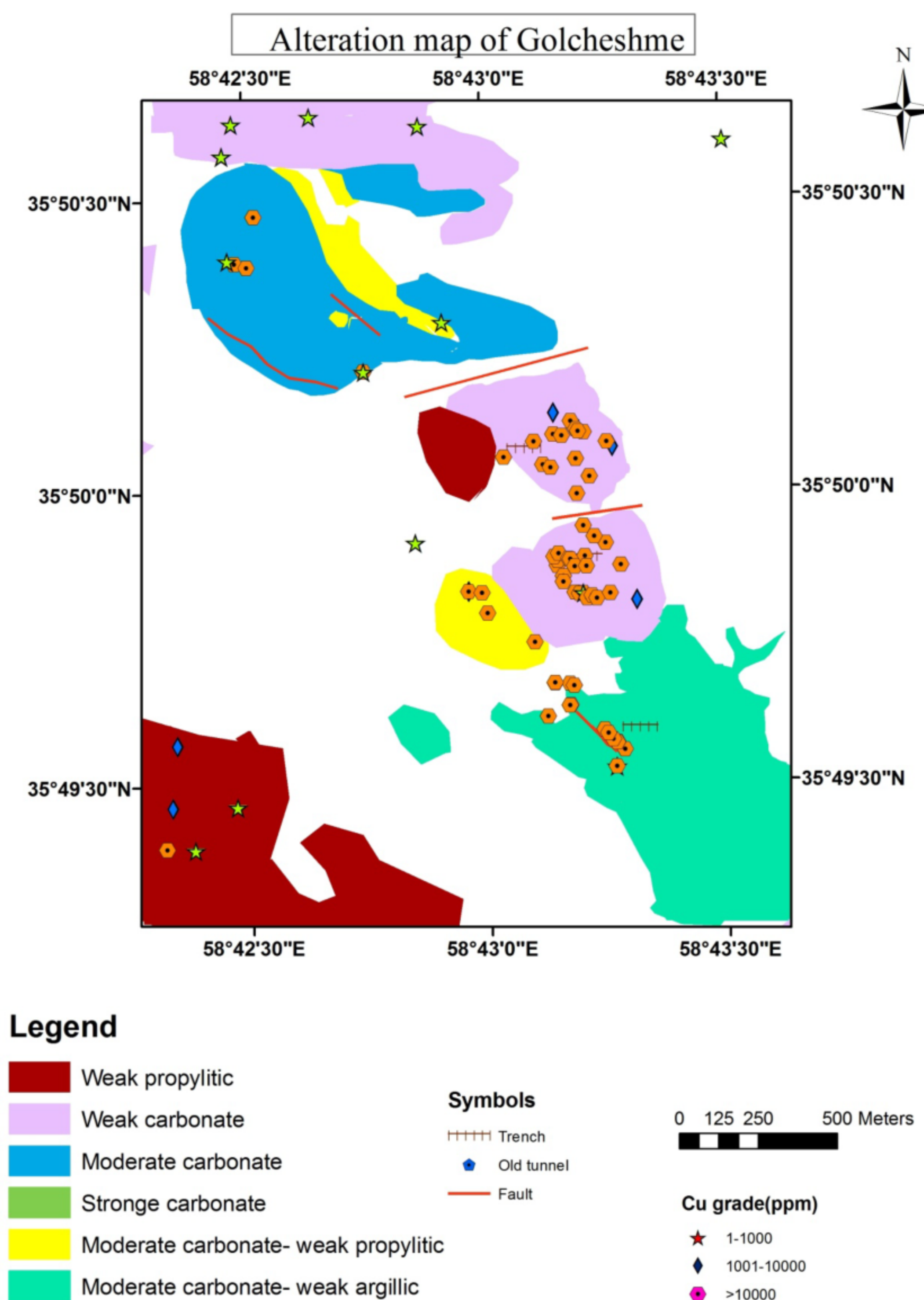


شکل ۶ تصاویر ماهواره‌ای استر که کانی‌های هماتیت، گوتیت و ژاروسیت بر روی آن بزرگنمایی شده است.

بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی

بر اساس بررسی‌های صحرایی، آزمایشگاهی و پردازش داده‌های ماهواره‌ای، بیشترین دگرسانی که در منطقه مشاهده می‌شود کربناتی است. به‌طور کلی می‌توان واحدهای دگرسانی زیر را مشخص کرد (شکل۷).

- **دگرسانی کربناتی شدید:** این دگرسانی گسترش زیادی ندارد (شکل۷). در واحد آندزیت بازالت و مشهود و مقدار کربناتی شدن آن بیش از ۵۰ درصد است.
- **دگرسانی کربناتی متوسط:** این دگرسانی در شمال غرب منطقه گسترش دارد و واحد آندزیت این بخش از منطقه را در برگرفته است (شکل۷). این دگرسانی، حدود ۲۰ الی ۲۵ درصد تبدیل شدگی پلاژیوکلازها و زمینه به کربنات را شامل می‌شود.
- **دگرسانی کربناتی ضعیف:** گسترش این دگرسانی را در شمال و مرکز منطقه می‌توان مشاهده کرد (شکل۷). واحدهای هورنبلند پیروکسن آندزیت مگاپورفیری در شمال و شمال غربی منطقه، پیروکسن آندزیت و آندزیت را در مرکز شامل می‌شود. در این دگرسانی حدود ۱۰ الی ۱۵ درصد کربناتی شدن فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند و زمینه مشاهده می‌شود.
- **دگرسانی کربناتی متوسط - آرژیلیک ضعیف:** این نوع دگرسانی در بخش جنوب شرقی منطقه در واحد آندزیت پورفیری دیده می‌شود (شکل۷). کانی‌های پلاژیوکلاز و زمینه حدود ۲۰ الی ۲۵ درصد به کربنات و حدود ۵ الی ۱۰ درصد تبدیل به کانی‌های رسی شده‌اند.
- **دگرسانی کربناتی متوسط- پروپیلیتیک ضعیف:** دگرسانی کربناتی متوسط- پروپیلیتیک ضعیف در واحدهای آندزیت و هورنبلند آندزیت در بخش شمال غربی و مرکز منطقه قابل مشاهده است (شکل۷). فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند و زمینه حدود ۱۵ الی ۲۰ درصد تبدیل به کربنات، ۵ الی ۸ درصد اپیدوتی و ۲ الی ۵ درصد کلریتی شده‌اند.
- **دگرسانی پروپیلیتیک ضعیف:** این نوع دگرسانی واحدهای آندزیت مگاپورفیری در مرکز و هورنبلند پیروکسن آندزیت مگاپورفیری در جنوب شرقی منطقه‌زا در برگرفته است (شکل۷). تبدیل شدگی پلاژیوکلازها و هورنبلندها، حدود ۲ الی ۵ درصد به اپیدوت و ۱ الی ۴ درصد به کلریت، قابل مشاهده‌اند.



شکل ۷ نقشه‌ی دگرسانی منطقه‌ی گل چشمه، محل و عیار مس نمونه‌های ژئوشیمی.

ژئوشیمی

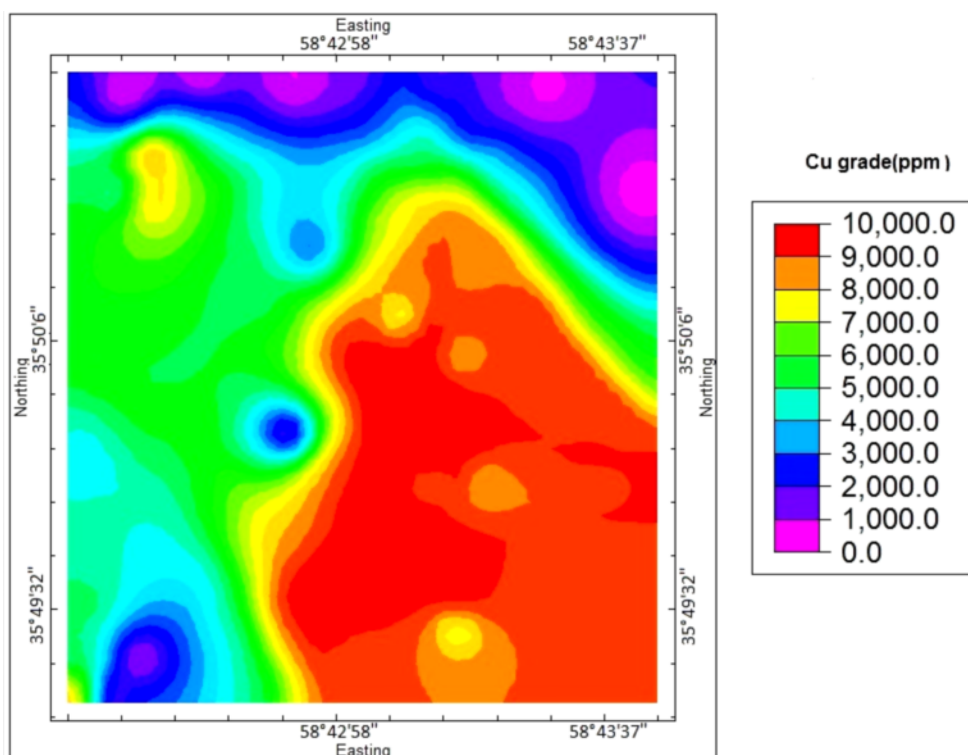
ژئوشیمی سطحی

نمونه‌برداری برای بررسی‌های ژئوشیمیایی با توجه بررسی‌های اولیه‌ی زمین‌شناسی و دگرسانی در منطقه‌ی و با هدف پی‌جویی عنصر مس و عناصر همراه (نظیر مولیبدن، طلا، آرسنیک، آنتیموان، سرب، روی و نقره) در گستره‌ای به وسعت ۹ کیلومتر مربع انجام گرفت. در مجموع، تعداد ۸۹ نمونه‌ی خرده سنگی از سطح منطقه جمع‌آوری و مورد تجزیه شیمیایی

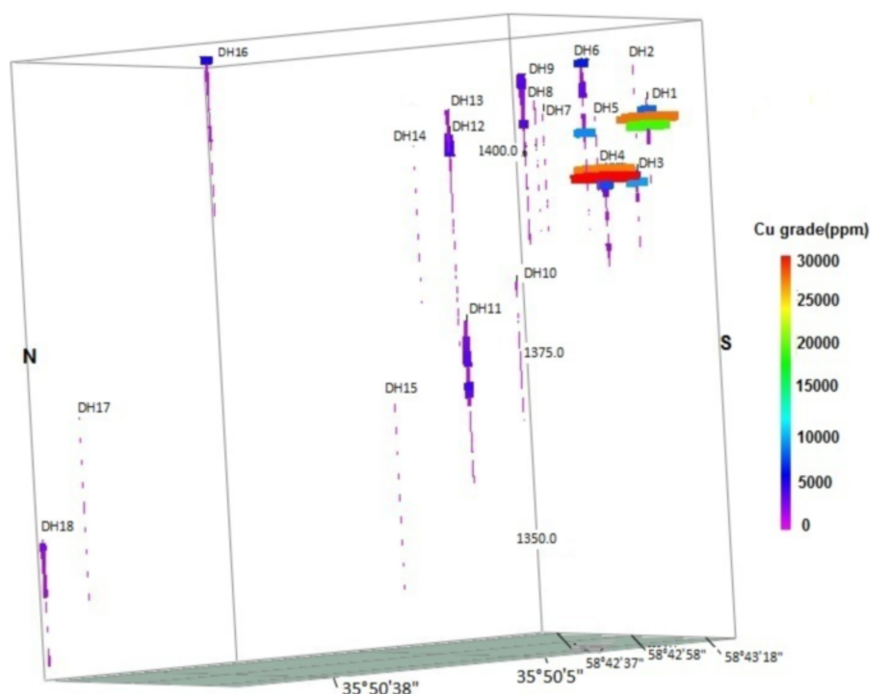
قرارگرفتند. موقعیت نمونه‌های سنگی در شکل۷ ارائه شده‌اند. این نمونه‌ها به روش ICP-MS در آزمایشگاه ACME کانادا تجزیه شدند به‌طور کلی نتایج بررسی‌های ژئوشیمیایی در گستره‌ی کانی‌سازی گل چشمه بی‌هنجاری عناصر زیر را نشان می‌دهد؛ براساس نتایج تجزیه‌های انجام شده، ۸۰ درصد نمونه‌ها بیش از ۱ درصد مس را نشان می‌دهند. نقشه‌ی ژئوشیمی سطحی مس در شکل ۸ قابل مشاهده است. عیار بالای مس در منطقه نشان دهنده‌ی کانی‌سازی قوی در منطقه است. حضور مولیبدن در منطقه بسیار کمرنگ است که مقدار این عنصر از ۱ تا ۱۸ گرم در تن متغیر است و مقادیر موجود نیز هیچ‌گونه همبستگی معنی داری با عنصر مس نشان نمی‌دهد. عنصر طلا نیز بر خلاف حضور پررنگ در نواحی شمال غرب (حوالی ارغش)، در سطح این منطقه بی‌هنجاری نشان نمی‌دهد. این نماد در مورد آرسنیک و آنتیموان نیز صدق می‌کند. عناصر نقره، سرب و روی نیز در منطقه به‌طور محدود حضور دارند. مقدار عنصر سرب از ۹ تا ۲۳۴ گرم در تن، روی ۳ تا ۹۹ گرم درتن و نقره ۱ تا ۱۰ گرم در تن متغیر است ولی با یکدیگر و نیز با مس همبستگی مثبت و شدیدی نشان نمی‌دهند، بنابراین همراهی ژنتیکی این عناصر با یکدیگر در گستره‌ی مورد نظر محتمل نیست.

ژئوشیمی عمقی

در منطقه‌ی مورد بررسی ۱۸ چاه تا به عمق ۳۰ متر به روش پودری حفر شدند که بر این اساس ۲۰۲ نمونه به آزمایشگاه زرآزما فرستاده و به روش ICP-OES تجزیه شدند. بر اساس نتایج حاصل از نمونه‌های تجزیه شده، عنصر مس مانند نمونه‌های سطحی، عیار کاملاً غیر طبیعی نشان می‌دهد که از ۵۴ گرم در تن تا حدود ۳ درصد متغیر است شکل۹. حضور مولیبدن در عمق نیز مانند سطح کمرنگ است. عنصر نقره نیز تغییر محسوسی را نشان نمی‌دهد ولی مقدار طلا به سمت عمق افزایش می‌یابد که مقدارش از ۰/۰۰۲ گرم در تن در سطح به ۰/۰۵۷ گرم در تن در عمق افزایش می‌یابد. این روند افزایش عیار در عمق در مورد عناصر سرب و روی نیز صدق می‌کند. مقدار سرب و روی به ترتیب در نمونه‌های سطحی حداکثر ۲۳۴ و ۹۹ گرم در تن است که درعمق این مقدار به ۸۴۹ و ۳۱۵ گرم در تن افزایش می‌یابد.



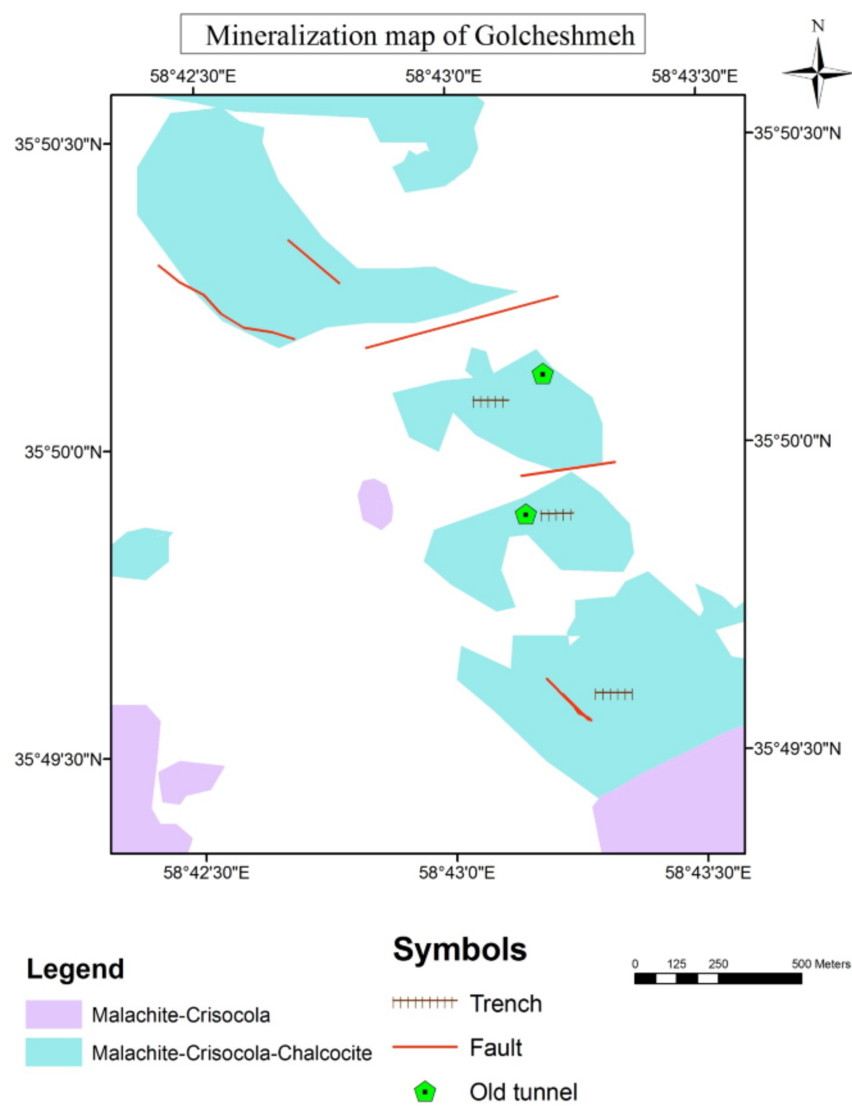
شکل۸ نقشه‌ی ژئوشیمی سطحی مس منطقه گل چشمه.



شکل ۹ میزان تغییرات عیار مس از سطح به عمق در چاه‌های حفاری پودری منطقه گل چشمه.

کانی سازی

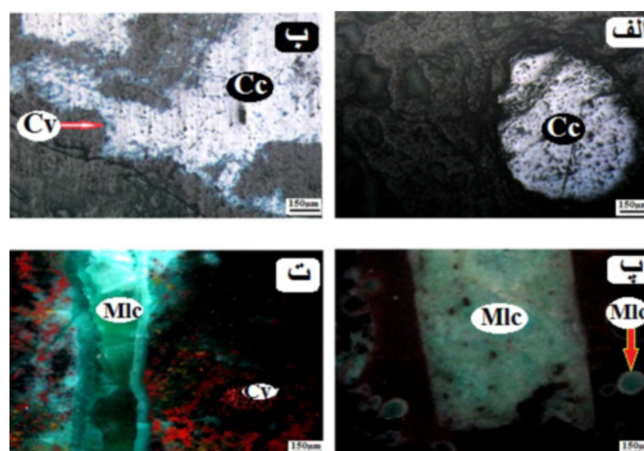
شواهد کانی‌سازی مس در منطقه‌ی گل چشمه بسیار گسترده است (شکل۱۰). کانی‌های کربنات مالاکیت، سیلیکات کریزوکولا و به مقدار کمتر سولفیدی کالکوسیت در سطح دیده می‌شوند. کانی‌های مس به‌صورت پر کننده‌ی فضاهای خالی و رگچه‌های کم ضخامت تقریباً در سراسر گستره پی‌جویی همراه با تمام سنگ‌های آتشفشانی دیده می‌شوند. ضخامت این رگچه‌ها از یک میلیمتر تا حدود ۱۰ سانتیمتر متغیر است. خلل و فرج سنگ‌ها، درز و شکاف‌هایی که در جهات مختلف سنگ میزبان را قطع کرده‌اند به‌صورت شبکه‌ای نامنظم ولی متراکم، فضای مناسب برای ورود محلول‌های کانی‌ساز را فراهم کرده است. در بخش‌هایی از منطقه شواهد معینی وجود دارد که حرکت محلول‌های مس دار به‌وسیله‌ی ساختارهای خطی و منطقه‌های گسلی، کنترل شده و با توجه به ترکیب، بافت سنگ دیواره و نیز حجم محلول، نفوذ در سنگ میزبان از چند سانتیمتر تا چندین متر صورت گرفته است. بر اساس شواهد صحرایی و بررسی‌های میکروسکوپی مشخص شد که کانی-سازی در واحد هورنبلند آندزیت منطقه گسترش بیشتری نسبت به واحدهای دیگر منطقه دارد و این افق آتشفشانی افق اصلی کانی‌سازی را تشکیل می‌دهد شکل۱۱. بر اساس بررسی-های مقاطع صیقلی، کانی اصلی سولفیدی مس در منطقه کالکوسیت است که هم به‌صورت رگه-رگچه‌ای و هم به صورت پرکننده‌ی حفره‌های خالی موجود در سنگ دیده می‌شوند شکل۱۲ الف و ۱۲ ب تبدیل شدن کالکوسیت به کوولیت در مقاطع میکروسکوپی قابل مشاهده است شکل ۱۲ الف کالکوسیت به مقدار فراوان در منطقه به مالاکیت و کریزوکولا نیز تبدیل شده است. کانی مالاکیت به صورت رگه- رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و نیز جانشین پلازیوکلازها در منطقه‌ی مورد بررسی دیده می‌شود شکل‌های ۱۲ پ و ۱۲ ت با توجه به اینکه کانی‌سازی اصلی سولفیدی و اولیه در منطقه‌ی کالکوسیت است (آثاری از کالکوپیریت یا کانه سولفیدی دیگر که کالکوسیت با این مقدار فراوان را در منطقه ایجاد کرده باشد وجود ندارد) که تبدیل شدگی به کوولیت، مالاکیت و کریزوکولا را نشان می‌دهد، بیشتر به‌صورت رگه –رگچه‌ای و پر کننده‌ی حفره‌هاست و در یک افق آتشفشانی خاص (هورنبلند آندزیت) بیشترین گسترش را دارد، دگرسانی موجود در منطقه به‌صورت منطقه‌بندی نیست و بیشتر دگرسانی از نوع کربناتی است، این کانی‌سازی را می‌توان از نوع کانسارهای مانتو رده‌بندی کرد.



شکل ۱۰ نقشه‌ی کانی‌سازی منطقه گل چشمه.



شکل۱۱ نمایی از افق اصلی کانی‌سازی.



شکل ۱۲ الف) کانی‌سازی پرکننده حفره‌هایی که کالکوسیت به‌عنوان سولفید اولیه حفره را پر کرده است (نورPPL). ب رگچه سولفیدی کالکوسیت اولیه وابسته به کانی‌سازی رگه‌ای- رگچه‌ای در منطقه که کانی کالکوسیت از حاشیه به کانی کوولیت تبدیل شده است (نور PPL). پ) کانی مالاکیت که به‌صورت پرکننده حفره‌ها و جانشین پلاژیوکلاز در سنگ میزبان است (نورXPL). ت) رگچه مالاکیتی (نور XPL).Mlc= مالاکیت،Cc= کالکوسیت، Cv= کولیت) علائم اختصاری کانی‌ها از [۷].

برداشت

براساس بررسی‌های انجام شده منطقه‌ی پوشیده از واحدهای آندزیتی پالئوژن است. پی‌جویی اولیه در این منطقه به روش پردازش داده‌های ماهواره‌ای استر و به روش نقشه بردار زاویه طیفی، دگرسانی‌های پروپیلیتیک، کربناتی، سیلیسی و آرژیلیک را مشخص کرد. کانی‌سازی رگه ای- رگچه‌ای و به ندرت پراکنده در واحدهای آتشفشانی شکل گرفته که دگرسانی غالب آن‌ها کربناتی است. در بخش‌هایی از منطقه، شواهد معینی وجود دارد که حرکت محلول‌های مس دار به وسیله ساختارهای خطی و منطقه‌های گسلی، کنترل شده و با توجه به ترکیب و بافت سنگ دیواره و نیز حجم محلول، نفوذ در سنگ میزبان از چند سانتیمتر تا چندین متر صورت گرفته است. کانی‌سازی سولفیدی مشاهده شده غالباً کالکوسیت است که به‌شدت در سطح اکسیدی شده و کانی‌های ثانویه مس را به‌وجود آورده است. بر اساس بررسی‌های ژئوشیمی عیار مس بیش از ۱ درصد است، وجود مولیبدن چندان آشکار نیست و هیچ همبستگی با مس ندارد. عناصر نقره، سرب و روی نیز در منطقه به‌طور محدود حضوردارند ولی با یکدیگر و نیز با مس همبستگی مثبت نشان نمی‌دهند. برای پی‌بردن به چگونگی شکل‌گیری کانی‌سازی منطقه نیاز به بررسی‌های بیشتری است، اما با توجه به اینکه کانسار در یک افق آتشفشانی خاص، بیشترین فراوانی و گسترش را دارد، کانی‌سازی اصلی سولفیدی، کالکوسیت است، کانی سازی غالباً به‌صورت رگه- رگچه‌ای و پرکننده، فضای خالی است، از این رو می‌تواند جزء کانسارهای مانتو محسوب شود و در حالت کلی شباهت‌هایی بین این نوع کانی‌سازی و کانی سازی عباس آباد سمنان و پنیسولای میشیگان وجود دارد.

مراجع

[1] Ruttner A., Stöcklin J., *"Geological map of Iran, scale 1:100,000"*, Geological Survey of Iran" (1967).
[2] Berberian M., King G. C. P., *"Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran"*, Canadian Journal of Earth Sciences (1981) 18: 210-265.
[3] Alavi M., *"Tectonic map of the Middle East, scale 1:2,900,000"*, Geological Survey of Iran(1991).
[4] Kruse F.A., Lefkoff A.B., Boardman J.B., Heidebreicht H.K.B., Shapiro A.T., Barloon P.J., Goetz A.F.H., *"The Spectral Image Processing System (SIPS)-interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data"*, Remote Sensing of Environment 44, (1993) pp. 145-163.
[5] Clark R.N., Swayze G.A., Gallagher A., King T.V.V., Calvin W.N., *"the U.S.Geological Survey, Digital Spectral Library: Version 1:0.2 to 3 μm. United States Geological Survey"*, Open File Report 93-592. (1993) 1326 pp.
[۶] نادری میقان، نصیر، *"نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن"*، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران (۲۰۰۰).
[7] Whitney D. L., Evans B. W., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals"*, American Mineralogist, 95 (2010) 185–187.